

UDK 911.2:556(497.5)
556.535(497.5)

Izvorni znanstveni članak
Original scientific paper

Tipologija protočnih režima rijeka u Hrvatskoj

Ivan Čanjevaca

U radu je opisana prva sveobuhvatna suvremena tipologija protočnih režima Hrvatske. U prvome dijelu daje se pregled dosadašnjih pristupa i metoda izdvajanja tekućica, odnosno protočnih režima u Hrvatskoj i svijetu. Nakon toga prikazani su rezultati klasifikacije 76 protočnih režima 51 tekućice u Hrvatskoj za razdoblje 1990. – 2009. Režimi su određeni upotrebom modulnih (Pardéovih) koeficijenata pa grupirani taksonomskom (klasterskom) metodom. Za grupiranje je upotrijebljena hijerarhijska Wardova metoda s primjenom Manhattan udaljenosti koja je provjerena nehijerarhijskom K-means metodom. Dobiveno je sedam tipova protočnih režima Hrvatske: 1) alpski snježno-kišni režim, 2) dinarski kišno-snježni režim, 3) peripanonski kišno-snježni režim, 4) panonski kišno-snježni režim, 5) panonski kišni režim, 6) sredozemni kišno-snježni režim, 7) sredozemni kišni režim. Svaki je tip opisan. Broj i prostorni raspored tipova upućuju na raznolikost protočnih režima rijeka u Hrvatskoj, koja je prije svega uvjetovana rasporedom i međudodnosom prirodno-geografskih elemenata te kod nekih rijeka i znatnijim ljudskim intervencijama. Rezultati trebaju biti polazište za kvalitetne prikaze, analize i održivo upravljanje tekućicama Hrvatske.

Ključne riječi: protočni režim, tipologija, klasterska analiza, Hrvatska, hidrogeografija, hidrologija

Typology of Discharge Regimes of Rivers in Croatia

This article first gives the modern typology of discharge regimes of rivers in Croatia. In the first part, an overview of the methodology and results of previous classifications and typologies of rivers in Croatia and in the world is given. In the second part, results of the classification of 76 discharge regimes of 51 rivers in Croatia for the period 1990-2009 are presented. Discharge regimes were determined using module (Pardé) coefficients and after that discharge curves were classified using the cluster method. In the clustering, the hierarchical Ward Method was used in combination with Manhattan distance and checked with the non-hierarchical K-means method. The analysis resulted in 7 types of discharge regimes in Croatia: 1) Alpine nival-pluvial regime, 2) Dinaric pluvial-nival regime, 3) Peripannonian pluvial-nival regime, 4) Pannonian pluvial-nival regime, 5) Pannonian pluvial regime, 6) Mediterranean pluvial-nival, and 7) Mediterranean pluvial regime. Each type was described. The number and distribution of types shows the great variety in the discharge regimes of rivers in Croatia. This is a result of distribution and interaction of natural-geographic elements and, in some cases, a consequence of human interventions. Results should be the ground point for quality presentations, analyses and sustainable management of rivers in Croatia.

Key words: discharge regime, typology, cluster analyses, Croatia, hydrogeography, hydrology

UVOD

Za kvalitetno upravljanje vodnim resursima nekoga područja ili poriječja potrebno je poznavati protočni režim tekućica, odnosno uobičajeno kretanje količina vode u koritu rijeke na lokaciji od interesa ili mjernoj stanici. Uz uobičajeno (srednje) kretanje vrijednosti važne su i ekstremne pojave, njihova učestalost i intenzitet. Ovim radom daje se prva sveobuhvatna suvremena tipologija protočnih režima Hrvatske. Utvrđivanje tipologije režima pomaže boljem shvaćanju prostornih razlika i uvjeta otjecanja u Hrvatskoj, što će, nadamo se, pridonijeti kvaliteti vodnogospodarskih planova i planiranja u vodnom gospodarstvu općenito. Kvalitetno upravljanje vodnim resursima ovisi i o poznavanju protočnog režima, odnosno prosječne vodne bilance u poriječju te prosječnih vrijednosti protoka i njihove sezonske varijacije (Brilly i dr., 2007; Bormann, 2010). Također, utvrđivanje aktualnih tipova režima polazišna je točka za analizu (recentnih) promjena i za moguće projekcije.

PRETHODNA ISTRAŽIVANJA

Različiti su pristupi i metode izdvajanja tekućica odnosno klasifikacija protočnih režima. Najpoznatiju klasifikaciju objavio je francuski geograf hidrolog Maurice Pardé (Ridanović, 1993). Pardé je uveo modulni koeficijent kao odnos između dviju veličina određenog razdoblja i odgovarajućeg prosjeka (Pardé, 1933). Srednji protok svakoga mjeseca dijeli se srednjim godišnjim protokom. Takva jednostavna formula i pristup najveću prednost imaju u činjenici da je omogućena usporedba protočnih režima rijeka različitih protoka, od potoka do velikih rijeka. Pardé je na temelju modulnih koeficijenata, odnosno protočnih režima dobivenih takvim pristupom podijelio sve tekućice na one s jednostavnim i one sa složenim režimom. Jednostavne je u nastavku podijelio na pet tipova, a složene na izvorno složene s pet podtipova te promjenjivo složene s četiri podtipa. Pardé u svojim analizama i tipologiji opravdano polazi od veze padalinskog i protočnog režima. Zatim opisuje pojedine tipove s obzirom na vrstu prihrane, javljanje maksimuma te u većini slučajeva daje primjere. U tab. 1 dan je pregled osnovnih obilježja ostalih tipologija protočnih režima. Navedene su tipologije koje su s jedne strane klasične, a s druge odražavaju i neke nove pristupe problematici izdvajanja režima protoka.

Valja napomenuti zanimljivosti i poticajne činjenice u vezi s nekim od navedenih tipologija. Opisujući tipove, A. I. Vojejkov (1884) uz osnovne karakteristike prihrane i režima ističe društvenu važnost pojedinih tipova tekućica, odnosno govori u kojem se smislu iskorištava (ili može iskorištavati) rijeka pojedinog tipa. Dajući svoju tipologiju, M. I. L'vovič (1945) krenuo je od izvora prihrane (omjere je odredio raščlanjujući hidrograf) te raspodjele ukupnog protoka po godišnjim dobima. Različitim kombinacijama tih parametara izrazio je 40 tipova, od kojih je utvrdio 21 tip na području bivšeg SSSR-a te još devetnaest drugih tipova u drugim dijelovima svijeta (Dukić, 1984, prema: Vojejkov, 1884, i L'vovič, 1945). Prednost takve tipologije svakako je sveobuhvatnost. S druge strane, metoda je dijelom subjektivna te je za izradu potrebno iskustvo, posebice prilikom raščlanjivanja hidrografa. R. Keller, zajedno s istraživačkim skupinom Geografskog instituta Sveučilišta u Freiburgu, izradio je hidroobrazac od šest karakterističnih veličina za univerzalnu primjenu pri klasificiranju tekućica (Ridanović, 1993, prema: Keller, 1968). Polazište za izračun mjesečni su koeficijenti otjecanja, a tipovi se izražavaju slovno-brojanom kombinacijom

Tab. 1. Izdvojene tipologije protočnih režima

Tab. 1 Selected typologies of discharge regimes

AUTOR	GODINA	PODRU- ČJE	OSNOVNA METODOLOGIJA	TEMELJ IZDVAJANJA	BROJ TIPOVA
A. I. Vojejkov	1884.	Svijet	Način prihrane i vri- jeme pojave velikih voda	Klimatski	4 grupe i 9 tipova
M. Pardé	1933.	Svijet	Modulni koeficijenti	Odnosi načina prihrane i analiza protoka u godini	2 grupe, 14 tipova, 5 podtipova
M. I. L'vovič	1945.	Svijet	Način prihrane i vri- jeme pojave velikih voda	Odnosi načina prihrane i analiza protoka u godini	40 tipova
F. D. Grimm	1968.	Europa	Godišnji hod pro- toka	Hidrološki	9 grupa i 55 tipova
R. Keller	1968.	Svijet	6 karakterističnih hidroloških veličina	Hidrografski obrazac	
R. P. Beckinsale	1969.	Svijet	Köppenova klimat- ska nomenklatura	Klimatski	4 grupe i više od 14 tipova
I. Krasovskaia, N. W. Arnell i L. Gottschalk	1994.	Sjeverna i Zap. Europa	Računalni program	Pojave maksimu- ma i minimuma	9 glavnih tipova i 4 prijelaznih
P. Frantar i M. Hrvatini	2005.	Slovenija	Modulni koeficijenti + računalni program	Statistička metoda	5 tipova
S. Isik i V. P. Singh	2008.	Turska	Krivulja godišnjega hoda protoka	Statistička metoda	6 grupa

Izvor: Pardé, 1933; Beckinsale, 1969; Dukić, 1984; Ridanović, 1993; Krasovskaia i dr., 1994; Wilhelm, 1997; Frantar i Hrvatini, 2005; Isik i Singh, 2008

(primjer primjene: Orešić, 1995). Takva je metodologija univerzalna i dovoljno objektivna. Mana je Kellerove klasifikacije nedostatak tipova, odnosno njihovih naziva i primjera. Metoda koja je imala globalni potencijal, zajedno s kartografskim podlogama, primijenjena je, nažalost, samo na neke dijelove kontinenata (Srednja Europa, poriječje Nila).

U posljednjem desetljeću 20. stoljeća istraživači sve češće pri obradi podataka upotrebljavaju računalno, čime se omogućuju brža obrada veće količine podataka te primjena objektivnijih kvantitativnih metoda. Znanje, iskustvo i kreativnost istraživača ostali su presudni u određivanju parametara za obradu, definiranje tipova režima i opis ključnih faktora bitnih za razvoj pojedinih tipova te njihove društvene važnosti. Tako su u sklopu međunarodnoga projekta *Flow Regimes from International Experimental and Network Data* (FRIEND) devedesetih godina 20. stoljeća I. Krasovskaia i suradnici izradili klasifikaciju režima zemalja sjeverne i zapadne Europe (Krasovskaia i dr., 1994). Glavni parametri klasifikacije bili su pojave primarnog i sekundarnog maksimuma odnosno minimuma. Računalnom automatizacijom omogućena je obrada 1385 nizova podataka te je izraženo

devet tipova i četiri prijelazna tipa režima tekućica. Metodologija navedene klasifikacije trebala je biti polazište za izrade tipologija drugih dijelova Europe i ostalih kontinenata.

Vrlo poticajne radove na temu klasifikacije protočnih režima rijeka u Sloveniji objavili su M. Hrvatin (1998) te P. Frantar i M. Hrvatin (2005). Oni su prvo izračunali modulne koeficijente za 70 odnosno 43 promatrane stanice te su zatim dobivene režime rijeka razvrstali klasterskom analizom. Klasterska analiza provedena je Wardovom metodom, dok su sličnosti između režima određene na temelju Manhattan udaljenosti. Imena tipova polaze od Ilešičevih (Pardéovih), kojima su pridodani regionalni pridjevi. Zanimljivo je primijetiti da je za razdoblje 1961. – 1990. određeno osam tipova (Hrvatin, 1998), dok je za razdoblje 1971. – 2000. istom metodologijom određeno pet tipova (Frantar i Hrvatin, 2005). Autori takvo smanjenje tipova, uz veći broj analiziranih stanica u prvom slučaju, pripisuju intenziviranju klimatskih promjena u posljednjem desetljeću 20. stoljeća.

Tipovima režima rijeka u Hrvatskoj bavili su se parcijalno S. Ilešić (1947) i J. Riđanović (1993). Regionalne analize režima tekućica objavili su D. Pejnović (1991) za ličku regiju, D. Orešić (1995) za poriječje Krapine te R. Knežević (2001, 2004) za poriječja Rječine i Mirne. Neke tekućice kontinentalnog dijela Hrvatske analizirane su također u širim istraživanjima režima protoka rijeka poriječja Dunava (Belz i dr., 2004; Kovacs, 2010).

S. Ilešić (1947) upotrebljavao je prilikom istraživanja i određivanja tipologija tekućica Jugoslavije Pardéove koeficijente za šesnaestogodišnje razdoblje 1923. – 1938. te utvrdio postojanje sljedećih tipova u Hrvatskoj:

- 1) snježni režim
 - a) blagi (Drava)
 - b) prijelazni (Mura)
- 2) kišno-snježni režim
 - a) prijelazna srednjoeuropska ili posavska varijanta (Sutla, Sava nizvodno od Zagreba)
 - b) umjereno mediteranska varijanta (Kupa)
 - c) mediteranska varijanta (Neretva, Cetina, Krka, Zrmanja i Rječina)
- 3) čisti ili gotovo čisti kišni režim (Čazma i istarske rijeke)
- 4) kombinirani-složeni režim (Dunav).

U radu su opisani svi navedeni tipovi te je, unatoč objektivnim nedostacima, Ilešičevo istraživanje temelj za buduća istraživanja i usporedbe. J. Riđanović u svojem je udžbeniku *Hidrogeografija* (1993) dao pri regionalnom opisu hidrogeografskih značajki Hrvatske osnovne karakteristike režima nekih tekućica prema Pardéu. Takva parcijalna tipologija s detaljnijim opisima pojedinih primjera kao i navedena regionalna istraživanja značili su kontinuitet geografskog istraživanja režima rijeka u Hrvatskoj. U navedenim radovima većinom su upotrebljavani Pardéovi modulni koeficijenti, dok su u drugima primjenjivane i ostale metode izdvajanja, poput Kellerove (Orešić, 1995; Knežević, 2001, 2004). Osnovni tipovi režima tekućica za neke rijeke Hrvatske javljaju se u još nekim publikacijama, poput *Velikog atlasa Jugoslavije* (Sekulić, 1987). Nažalost, podjela i osnovni opis u toj publikaciji dosta su općeniti, bez jasne metodologije i kriterija izdvajanja.

PODATCI I METODOLOGIJA IZRADE

Izradom tipologije odredit će se tipovi protočnih režima u Hrvatskoj za razdoblje 1990. – 2009. Za izradu je uzeto posljednje dvadesetogodišnje razdoblje, i to iz više razloga. Cilj je bio izraditi tipologiju za koju možemo reći da vrijedi *danās*. Uz to, obuhvat recentnog razdoblja omogućio je analizu na većem broju stanica. Glavni kriterij pri odabiru stanica bio je, uz raspolaganje dovoljnim brojem podataka za razdoblje 1990. – 2009., njihova prostorna distribucija. Tako su primjerice isključene stanice na istoj tekućici koje su preblizu jedna drugoj te imaju gotovo identičan režim, dok su s druge strane uključene i stanice s nepotpunim nizovima podataka ako je to bio jedini način obuhvata određene relevantne tekućice u Hrvatskoj. Osim toga značajnije se odstupilo od razdoblja analize samo u slučaju Dunava (stanica Bezdan), koji je analiziran za razdoblje 1979. – 1998. Podatci o protocima Dunava nakon 1998. nisu dostupni u Hrvatskoj. Od većih tekućica Hrvatske analizom nije obuhvaćena samo Neretva. Naime cijeli tok, a time i režim Neretve u Hrvatskoj, pod utjecajem je Jadranskoga mora, te se utjecaj plime i oseke osjeća petnaest kilometara uzvodno od Metkovića (izvor 1). Zbog toga za stanicu Metković postoje samo podatci o mjerenju vodostaja rijeke. Ukupno je odabrano 76 mjernih stanica na 51 tekućici.

Različite metodološke mogućnosti i primjeri izrade tipologija režima već su opisani. Kako bi izrada tipologije bila što objektivnija, primijenjena je klasterska analiza, jedna od metoda multivarijantne statistike (Hrvatini, 1998; Frantar i Hrvatini, 2005; Reimann i dr., 2008). Klasterska analiza omogućit će grupiranje protočnih režima tekućica u manje, homogenije skupine koje se nazivaju klasteri, grupe, grozdovi ili tipovi. Svaka skupina trebala bi biti što homogenija, a skupine međusobno što heterogenije.

No da bi se provela klasterska analiza protočnih režima, prvo je bilo potrebno odgovarajuće izraziti režime za sve tekućice. Za to su upotrijebljeni modulni (Pardéovi) koeficijenti, na temelju kojih je prikazan godišnji hod protoka za razdoblje 1990. – 2009. određene tekućice na pojedinoj mjernoj stanici. Upotreba vrijednosti protoka i modulnih koeficijenata omogućila nam je usporedbu režima svih tekućica bez obzira na njihovu veličinu, tj. apsolutne mjesečne vrijednosti protoka.

Nakon toga režimi su grupirani u klaster. Za grupiranje se primjenjuju različite metode u kombinaciji s različitim mjerama udaljenosti udruživanja. Neke od mjera udaljenosti odnosno načina računanja sličnosti između pojava jesu Euklidska udaljenost, Kvadrirana euklidska udaljenost, Mahalanobisova udaljenost, Čebiševljeva udaljenost, Manhattan (također Block ili City Block) udaljenost i Minkowskijeva udaljenost (Kurnoga Živadinović i Sorić, 2008). Nakon isprobavanja različitih mjera udaljenosti, uzimajući u obzir i slična prethodna istraživanja, optimalnom se pokazala Manhattan udaljenost. Kod klasterskih metoda ili metoda grupiranja postoje dvije osnovne skupine: hijerarhijska i nehijerarhijska. Hijerarhijske metode karakterizira razvijanje određene hijerarhije između analiziranih varijabli i početni nepoznat broj klastera. Broj klastera u konačnici se određuje subjektivno, na temelju drvolikoga grafičkog prikaza odnosno dendrograma. Kod nehijerarhijske metode unaprijed se određuje broj klastera. U praksi se optimalni rezultati dobivaju kombinacijom tih dviju metoda. U ovom radu upotrijebljena je prvo hijerarhijska metoda, koja je zatim provjeravana nehijerarhijskom.

Najčešće upotrebljavane hijerarhijske metode jesu: metoda najbližeg susjeda (engl. *single linkage method*), metoda najudaljenijeg susjeda (*complete linkage method*), me-

toda prosječne povezanosti (*average linkage method*), Wardova metoda i centroidna metoda (Kurnoga Živadinović i Sorić, 2008). Od nehijerarhijskih metoda najpoznatija je K-means metoda. Izabrana je Wardova metoda, a rezultati su provjeravani K-means metodom. Wardova se metoda u kombinaciji s Manhattan udaljenošću temelji na minimiziranju apsolutnih vrijednosti zbroja udaljenosti bilo kojih dvaju klastera. Počinje se tako da je svaka pojava (varijabla, objekt proučavanja) jedan klaster te se zatim traže dva najsličnija klastera, koja se spajaju u novi i tako redom dok se svi klasteri na kraju ne povežu u jedan. K-means metoda počinje određivanjem broja klastera (k) te se zatim pojave raspoređuju u klastere tako da je varijanca unutar klastera što manja, a između klastera što veća. Ona se u ovom istraživanju primjenjuje kao provjera hijerarhijske metode, odnosno za potvrdu je li odabran optimalni broj klastera analizom izrađenog dendrograma.

Nakon dobivenoga dendrograma, određivanja broja klastera i provjere njihovih članova nehijerarhijskom metodom, dobiveni su klasteri imenovani, opisani i analizirani.

REZULTATI I RASPRAVA

Primjenom navedenih metoda razvrstavanja došlo se do sedam klastera odnosno tipova protočnih režima rijeka u Hrvatskoj (sl. 1). Klasteri odnosno tipovi režima obuhvaćaju od tri do 22 člana (mjerne stanice). Njihovi nazivi određeni su s jedne strane regionalno, a s druge s obzirom na prevladavajuću vrstu prihrane (kišnica, snježnica i sočnica). U nastavku ih navodimo redom kako se izdvajaju na dendrogramu.

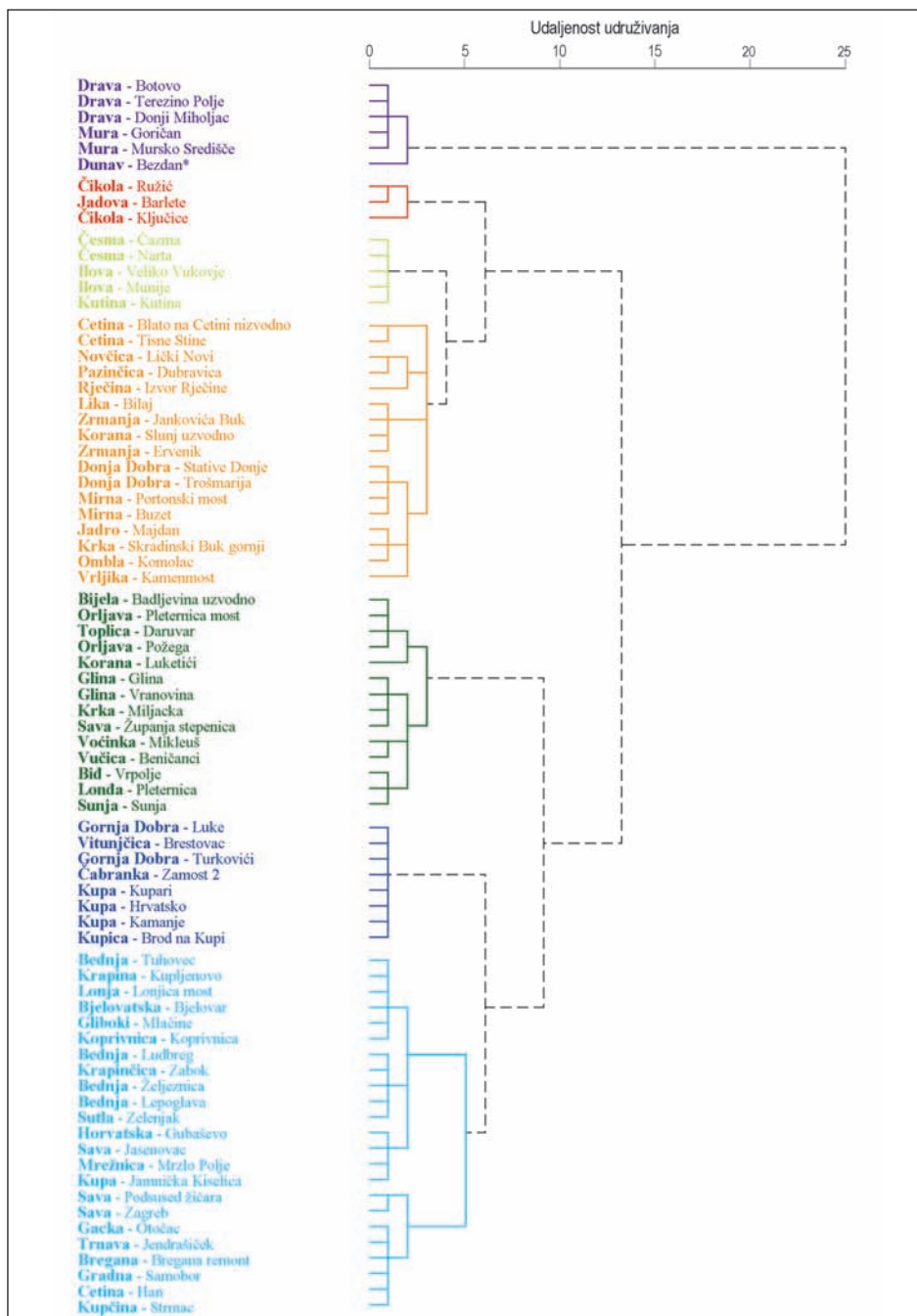
Prvi klaster čini šest stanica na tri rijeke – Dravi, Muri i Dunavu. Klaster je nazvan *alpski snježno-kišni režim* jer je izvorište navedenih rijeka ili pritoka koje značajno određuju njihov režim u alpskom području. Taj se režim najviše razlikuje od ostalih, prije svega zbog gotovo obrnute pojave velikih i malih voda tijekom godine u odnosu na ostale tekućice Hrvatske te većeg utjecaja snježnice u prihrani.

Drugi je klaster najmanji te obuhvaća samo tri stanice na dvije tekućice: Čikoli i Jadovi. Klaster je nazvan *sredozemni kišni režim*. Njegova je glavna karakteristika jednostavnost (jedan maksimum i jedan minimum tijekom godine), a glavna su razlika u odnosu na ostale režime velike oscilacije tijekom godine te izrazito niske vode u srpnju i kolovozu, kada tekućice nerijetko i presušuju.

Treći klaster nazvan je *panonski kišni režim*. Obuhvaća pet stanica na tri manje tekućice nizinskog ili panonskog dijela Hrvatske: Česmi, Ilovi i Kutini. Jednostavni režim s jednim izraženijim maksimumom i minimumom rezultat je dominantnog značenja kišnice u prihrani tih tekućica.

Četvrti klaster čini sedamnaest stanica na trinaest uglavnom krških tekućica. Klaster je nazvan *sredozemni kišno-snježni režim* zbor primarnog utjecaja kišnice na režim. Kod većeg dijela tih tekućica prisutna je i prihrana snježnicom zbog toga što se njihova izvorišna područja ili dijelovi poriječja nalaze u gorju, gdje se snijeg kao padalina javlja češće i zadržava dulje. Pridjev sredozemni dodijeljen je zbog smještaja navedenih tekućica i klimatskih uvjeta koji prevladavaju na njihovim poriječjima.

Peti klaster nosi naziv *panonski kišno-snježni režim*. Obuhvaća četrnaest stanica na deset tekućica poriječja Dunava. Uglavnom su posrijedi manje tekućice (iznimka je Sava



* Za razdoblje 1979. – 1998.

Sl. 1. Dendrogram tipova protočnih režima rijeka Hrvatske

Fig. 1 Dendrogram of types of discharge regimes of rivers in Croatia

kod Županje) koje svoje izvorište imaju u slavonskim i kordunskim gorama. Karakterizira ih složeni režim s dva godišnja maksimuma i minimuma.

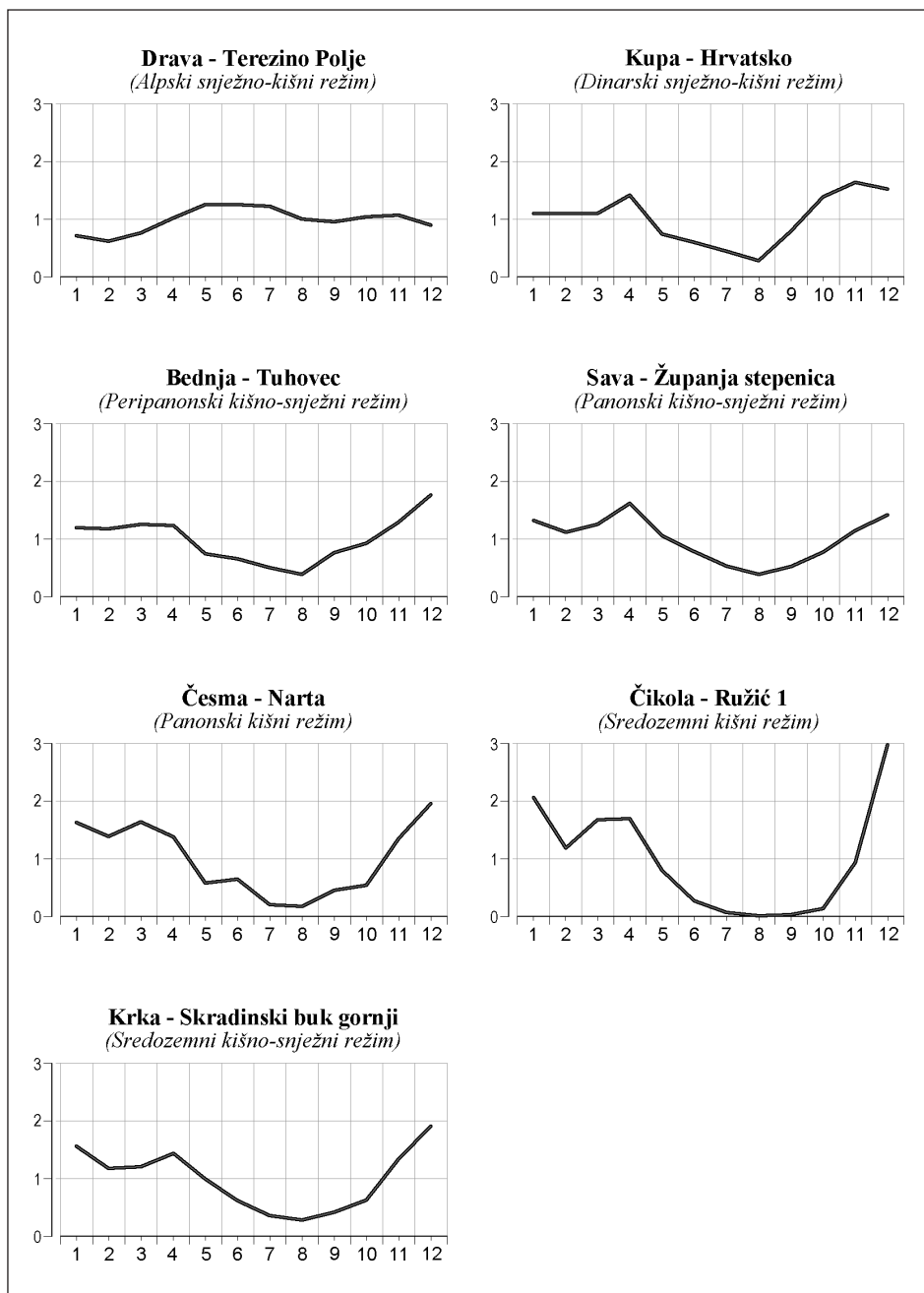
Šesti klaster, nazvan *dinarski kišno-snežni režim*, obuhvaća tekućice poriječja Kupe koje svoje izvorište uglavnom imaju u višem gorju Dinarida, čime je udio snježnice u prihrani u odnosu primjerice na prethodni klaster izraženiji. I ovdje je riječ o složenom režimu s dvije visoke i dvije niske vode.

Posljednji, ujedno i najveći klaster, jest *peripanonski kišno-snežni režim*. Obuhvaća dvadeset tri stanice na osamnaest tekućica. Pridjev peripanonski dodijeljen je zbog položaja prije svega stanica, a dijelom i tekućica. Zbog većeg obuhvata klastera u toj su se skupini našle i neke stanice i tekućice koje odudaraju od pridjeva peripanonski, primjerice Gacka ili Cetina. Njihov režim na navedenim stanicama znatnije je izmijenjen izgradnjom hidroenergetskih sustava i brana, pa je ujednačeniji i time sličan ostalim tekućicama te skupine.

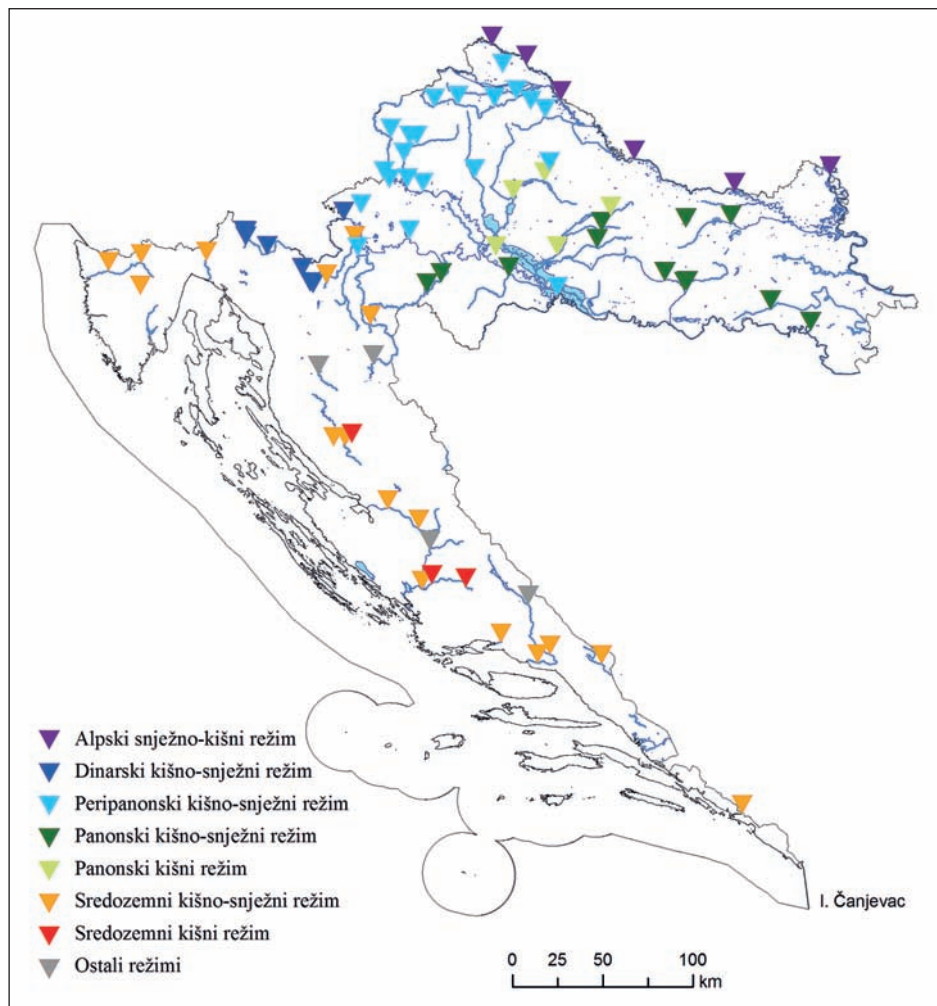
Svako grupiranje nosi sa sobom poteškoće i nije imuno na pogreške i neobične iznimke. Primjenom objektivne statističko-matematičke metode klastera nastojalo se pristupiti problematici što objektivnije. Uzeta udaljenost udruživanja te odabir broja klastera kao i njihovi nazivi većim su dijelom rezultat poznavanja geografskih obilježja tekućica i njihovih poriječja. Odstupanja ili nepokrivenost nazivom nekih stanica ili tekućica obrazloženi su prilikom opisa i analize svakog tipa. Tipovi se u nastavku zbog logičnosti slijeda izlaganja navode sljedećim redoslijedom (sl. 2, sl. 3): 1) alpski snježno-kišni režim, 2) dinarski kišno-snežni režim, 3) peripanonski kišno-snežni režim, 4) panonski kišno-snežni režim, 5) panonski kišni režim, 6) sredozemni kišno-snežni režim, 7) sredozemni kišni režim.

1. Alpski snježno-kišni režim

Rijeke s alpskim snježno-kišnim režimom u Hrvatskoj jesu Drava, Mura i Dunav. To su tekućice koje imaju izvorišno područje i najveću prihranu u Alpama. Premda Dunav svoje izvorište nema u Alpama, njegov je režim u srednjem dijelu toka (stanica Bezdan) još uvijek obilježen snažnim utjecajem desnih (alpskih) pritoka u Njemačkoj i Austriji: Illera, Lecha, Isera, Inna i Ennsa (Belz i dr., 2004). Time mu je u Hrvatskoj režim sličan onome Drave i Mure, s još manjim razlikama visokih i niskih voda. Napominjemo, podaci za Dunav uzeti su za razdoblje 1979. – 1998., zbog čega ne možemo analizirati recentni režim, već je on prikazan radi uvida i usporedbe s drugim režimima Hrvatske. Budući da Drava u Hrvatskoj nema većih pritoka koji bi značajnije utjecali na njezin režim, on se bez obzira na duljinu toka u Hrvatskoj, malo mijenja. Glavna su značajka toga režima visoke vode u toplijem dijelu godine i relativno malo osciliranje količina vode tijekom cijele godine (tab. 2). Primarni maksimum javlja se u svibnju i lipnju, kada su vrijednosti modulnih koeficijenata od 1,25 (Drava-Donji Miholjac) do 1,45 (Mura-Goričan), dok se znatno manje izraženi drugi maksimum javlja u listopadu i studenome s vrijednostima modulnih koeficijenata nešto većim od 1. Kod Mure drugoga maksimuma gotovo i nema te praktično možemo govoriti o jednostavnom (snježnom) režimu.



Sl. 2. Odabrani primjeri krivulja godišnjega hoda protoka za sve tipove protočnih režima Hrvatske
Fig. 2. Selected examples of yearly discharge curve for all discharge regime types



Sl. 3. Tipovi protočnih režima rijeka Hrvatske

Fig. 3 Types of discharge regimes in Croatia

Najmanje količine vode javljaju se u veljači, kada se modulni koeficijenti kreću u rasponu od 0,6 (Mura-Mursko Središće) do 0,9 (Dunav-Bezdan). Iznadprosječni protoci odnosno količine vode javljaju se kod svih rijeka od travnja do kolovoza, a kod Drave i u listopadu i studenome. Ispodprosječni protoci javljaju se od prosinca do ožujka, dok se od rujna do studenoga vrijednosti modulnih koeficijenata kreću oko srednje vrijednosti. Na režime navedenih rijeka, posebno na ujednačenost protoka, utječe i izgradnja velikih hidroenergetskih postrojenja, odnosno brana kojima se protoci reguliraju. S druge strane, te tekućice upravo su i izabrane za izgradnju hidroelektrana zbog povoljnih hidroloških prilika tijekom cijele godine.

Tab. 2. Modulni koeficijenti za razdoblje 1990. – 2009. tekućica s alpskim snježno-kišnim režimom
 Tab. 2 *Module coefficients of rivers with Alpine nival-pluvial regime for the 1990-2009 period*

VODOTOK-STANICA	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
Drava-Botovo	0,69	0,63	0,78	1,04	1,3	1,29	1,22	1	0,95	1,07	1,1	0,91
Drava-Terezino Polje	0,72	0,65	0,78	1,03	1,28	1,28	1,23	1,01	0,96	1,06	1,09	0,91
Drava-Donji Miholjac	0,75	0,68	0,79	1,03	1,25	1,26	1,21	0,99	0,96	1,04	1,08	0,95
Mura-Goričan	0,66	0,62	0,83	1,15	1,45	1,27	1,2	1,04	1	0,99	0,95	0,84
Mura-Mursko Središće	0,65	0,6	0,8	1,13	1,44	1,3	1,23	1,07	0,98	1,02	0,95	0,81
Dunav-Bezdan*	0,9	0,9	1	1,28	1,25	1,26	1,19	0,96	0,83	0,74	0,79	0,89

* Za razdoblje 1979. – 1998.

Izvor: prema podacima DHMZ-a izračunao autor

2. Dinarski kišno-snežni režim

Rijeke koje karakterizira dinarski kišno-snežni režim jesu Kupa (stanice Hrvatsko, Kupari i Kamanje), Čabranka, Kupica, Gornja Dobra (stanice Luke i Turkovići) i Vitunjčica (manji desni pritok Dobre). Sve pripadaju poriječju Kupe, a njihov izvorišni dio i barem gornji dio toka u Gorskom su kotaru, pa se taj režim može nazivati i kupski ili goranski tip. Navedene tekućice teku prostorom krša (dio otjecanja odvija se i podzemno), u odnosu na ostale kišno-snežne tipove izvorište im je u višem gorju, u prostoru s najvećom količinom padalina u Hrvatskoj. Dinarski kišno-snežni složeni je režim s dva maksimuma i minimuma tijekom godine (tab. 3). Prvi maksimum javlja se u travnju, kada se vrijednosti modulnih koeficijenata kreću između 1,36 (Kupa-Kamanje i Kupica-Brod na Kupu) i 1,62 (Gornja Dobra-Luke). On je snježni, odnosno rijeka se u tom razdoblju pretežno prihranjuje snježnicom. Drugi, jednako izraženi maksimum javlja se u studenome ili prosincu, kada su vrijednosti modulnih koeficijenata između 1,4 (Gornja Dobra-Luke) i 1,66 (Kupa-Kupari) kao posljedica jesenskih kiša.

Tab. 3. Modulni koeficijenti za razdoblje 1990. – 2009. tekućica s dinarskim kišno-snežnim režimom
 Tab. 3 *Module coefficients of rivers with Dinaric pluvial-nival regime for the 1990-2009 period*

VODOTOK-STANICA	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
Gornja Dobra-Luke	1,02	1,01	1,26	1,62	0,82	0,68	0,45	0,34	0,73	1,16	1,4	1,5
Gornja Dobra-Turkovići	1,1	1,05	1,26	1,61	0,82	0,52	0,35	0,29	0,69	1,37	1,47	1,49
Vitunjčica-Brestovac	1,08	1,04	1,26	1,52	0,79	0,59	0,38	0,35	0,76	1,24	1,44	1,53
Čabranka-Zamost2	1,02	0,95	1,22	1,45	0,76	0,56	0,41	0,36	0,77	1,39	1,59	1,52
Kupa-Kupari	1,13	0,95	1,11	1,51	0,79	0,52	0,34	0,28	0,77	1,39	1,66	1,55
Kupa-Hrvatsko	1,08	1,08	1,1	1,41	0,75	0,61	0,45	0,29	0,81	1,4	1,64	1,52
Kupa-Kamanje	1,12	1,01	1,26	1,36	0,71	0,52	0,35	0,34	0,72	1,32	1,63	1,65
Kupica-Brod na Kupu	1,26	1,09	1,06	1,36	0,72	0,5	0,41	0,29	0,7	1,35	1,53	1,73

Izvor: prema podacima DHMZ-a izračunao autor

Primarni minimum javlja se redovito u kolovozu, kada se modulni koeficijenti kreću u rasponu od 0,28 (Kupa-Kupari) do 0,36 (Čabranka-Zamost2), dok je onaj drugi, manje izraženi u veljači, kada se modulni koeficijenti kreću oko srednje vrijednosti. Iznadprosječne količine vode javljaju se kod svih rijeka ovoga tipa od listopada do travnja (iznimka je veljača s protocima oko prosjeka za godinu), dok se ispodprosječne količine javljaju od svibnja do rujna. Prilične oscilacije protoka tijekom godine slika su, osim klimatskih elemenata, i veličine poriječja te krškog prostora kroz koji tekućice prolaze.

3. Peripanonski kišno-snežni režim

Taj tip režima obuhvaća više od trideset posto analiziranih stanica. Tekućice s peripanonskim kišno-snežnim režimom jesu Bednja (stanice Tuhovec, Lepoglava, Željeznica i Ludbreg), Krapina, Krapinčica, Horvatska, Sutla, Lonja, Bjelovatska (Bjelovar), Gliboki, Koprivnica, Sava (stanice Podsused žičara, Zagreb i Jasenovac), Bregana, Gradna, Trnava, Kupčina, Mrežnica i Kupa (Jamnička Kiselica) (tab. 4). Većina se stanica nalazi u prije-

Tab. 4. Modulni koeficijenti za razdoblje 1990. – 2009. tekućica s peripanonskim kišno-snežnim režimom
Tab. 4. Module coefficients of rivers with Peripannonian pluvial-nival regime for the 1990-2009 period

VODOTOK-STANICA	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
Bednja-Tuhovec	1,21	1,18	1,28	1,23	0,74	0,67	0,5	0,4	0,77	0,93	1,29	1,79
Bednja-Željeznica	1,25	1,19	1,6	1,45	0,73	0,67	0,46	0,38	0,76	0,89	1,09	1,52
Bednja-Lepoglava	1,02	1,2	1,42	1,42	0,73	0,65	0,47	0,36	0,82	1,01	1,18	1,69
Bednja-Ludbreg	1,19	1,13	1,5	1,38	0,75	0,73	0,52	0,42	0,72	0,85	1,19	1,6
Krapina-Kupljenovo	1,29	1,16	1,43	1,27	0,75	0,69	0,39	0,35	0,68	0,87	1,32	1,79
Krapinčica-Zabok	1,29	1,17	1,51	1,35	0,86	0,76	0,49	0,38	0,6	0,87	1,2	1,57
Sutla-Zelenjak	1,13	1,06	1,45	1,25	0,76	0,72	0,53	0,44	0,73	1,07	1,34	1,53
Horvatska-Gubaševo	1,32	1,14	1,21	1,21	0,97	0,7	0,43	0,41	0,59	0,98	1,44	1,6
Sava-Jasenovac	1,34	1,1	1,23	1,4	1,03	0,62	0,48	0,42	0,7	0,9	1,25	1,52
Sava-Podsused žičara	0,92	0,78	1,14	1,04	0,86	0,79	0,6	0,62	0,94	1,32	1,47	1,52
Sava-Zagreb	0,98	0,86	1,16	1,32	0,93	0,81	0,62	0,55	0,73	1,17	1,47	1,4
Mrežnica-Mrzlo Polje	1,27	1,14	1,27	1,66	0,87	0,6	0,36	0,33	0,56	0,87	1,29	1,78
Kupa-Jamnička Kiselica	1,24	1,22	1,42	1,63	0,76	0,53	0,39	0,44	0,57	0,96	1,27	1,57
Gacka-Otočac	1,31	1,11	1,1	1,21	1,06	0,92	0,69	0,5	0,52	0,86	1,4	1,36
Trnava-Jendrašiček	1,35	0,84	1,22	1,32	0,84	0,81	0,71	0,74	0,71	0,9	1,39	1,32
Lonja-Lonjica most	1,39	1,23	1,43	1,18	0,63	0,68	0,51	0,42	0,72	0,83	1,28	1,69
Bjelovatska-Bjelovar	1,41	1,31	1,44	1,19	0,78	0,81	0,31	0,31	0,62	0,75	1,28	1,75
Gliboki-Mlačine	1,38	1,02	1,51	1,38	0,81	0,66	0,4	0,32	0,7	0,79	1,3	1,79
Koprivnica-Koprivnica	1,25	1,21	1,56	1,1	0,73	0,58	0,37	0,31	0,77	0,79	1,31	2,04
Bregana-Bregana remont	1,12	1,05	1,33	1,42	0,98	0,78	0,64	0,69	0,72	0,84	1,02	1,37
Gradna-Samobor	1,15	1,08	1,32	1,42	0,98	0,75	0,66	0,64	0,73	0,91	1,05	1,37
Cetina-Han	1,5	1,26	1,02	1,14	0,97	0,62	0,58	0,65	0,76	0,88	1,17	1,44
Kupčina-Strmac	1,17	1	1,26	1,52	1	0,69	0,54	0,56	0,69	0,94	1,19	1,4

Izvor: Prema podatcima DHMZ-a izračunao autor

laznome peripanonskom prostoru Hrvatske (sjeverozapadna i sjeverna Hrvatska), gdje manje tekućice obuhvaćene tim razredom izviru u gorama i planinama visine do tisuću metara. Otjecanje je pretežno površinsko te je dobro razvijena površinska riječna mreža. To su rijeke poriječja Save i Drave (Trnava, Bednja, Gliboki i Koprivnica). Uz njih je tim režimom obuhvaćen i nizvodni dio Kupe nakon primanja pritoka kod Karlovca (Jamnička Kiselica), kao i njen prtok Mrežnica (stanica Mrzlo Polje). Obuhvaćene tri stanice na Savi daju karakteristike gornjeg i srednjeg toka Save u Hrvatskoj.

Klasterskom analizom u tu su skupinu uključene Gacka i Cetina (stanica Han), koje ne pripadaju ni peripanonskome ni panonskom prostoru. Njihov prirodni režim izmijenjen je znatnim ljudskim intervencijama, odnosno izgradnjom većih hidroenergetskih sustava u drugoj polovini 20. stoljeća, pa ih se može smatrati i posebnom skupinom *rijeka s antropogeno znatno izmijenjenim režimima* (na sl. 3 prikazane u skupini *ostali režimi*).

Peripanonski kišno-snežni režim složeni je režim sa po dva maksimuma i minimuma tijekom godine. Prvi maksimum javlja se u ožujku ili travnju, kada se vrijednosti modulnih koeficijenata kreću od 1,14 (Sava-Podsused žičara u ožujku) do 1,66 (Mrežnica-Mrzlo Polje). Drugi, uglavnom izraženiji maksimum javlja se u prosincu (iznimno u studenome), kada se modulni koeficijenti kreću u rasponu od 1,37 (Bregana-Bregana remont i Gradna-Samobor) do 2,04 (Koprivnica-Koprivnica). Primarni minimum javlja se u kolovozu i tek kod nekoliko stanica u srpnju, kada se vrijednosti modulnih koeficijenata kreću između 0,31 (Bjelovatska-Bjelovar i Koprivnica-Koprivnica) i 0,74 (Trnava-Jendrašićek). Drugi, manje izraženi minimum javlja se redovito u veljači s vrijednostima koeficijenata od 0,78 (Sava-Podsused žičara) do 1,31 (Bjelovatska-Bjelovar). Iznadprosječne vrijednosti protoka javljaju se u pravilu od studenoga do travnja. Iznimka je Sava, gdje se iznadprosječne vrijednosti javljaju u dva (odvojena) razdoblja. Ovaj najheterogeniji tip režima oslikava, uz različite veličine tekućica i njihovih poriječja, raznolikost klimatskih uvjeta otjecanja na mezoregionalnoj i mikroregionalnoj razini. Njihovi režimi međusobno se razlikuju i u odnosu na veličinu poriječja (brža i jednostavnija veza padalina i otjecanja). Također se u različitostima oslikavaju i hipsometrijske značajke pojedinih poriječja. Primjerice veći udio viših predjela za sobom povlači veći udio snijega u ukupnoj količini padalina, koji opet posljedično znači manji pomak proljetnog maksimuma ili njegovu manju izraženost i raspoređenost na dva mjeseca.

Kao što je već rečeno, režim Save kod Zagreba (stanice Podsused žičara i Zagreb) ponešto se razlikuje od ostalih tekućica i zahtijeva detaljniju elaboraciju. Prva je uočena razlika već spomenuto javljanje iznadprosječnih vrijednosti tijekom godine. Iznadprosječne vrijednosti protoka javljaju se od listopada do prosinca i od ožujka do travnja. Vrijednosti protoka oko godišnjeg srednjaka javljaju se u siječnju i svibnju. Prvi maksimum protoka javlja se redovito u travnju zbog proljetnih kiša i topljenja snijega. Drugi maksimum javlja se u studenome kao posljedica obilnih jesenskih kiša i smanjenih gubitaka evapotranspiracijom.

4. Panonski kišno-snežni režim

Rijeke koje imaju panonski kišno-snežni režim jesu Bijela, Orljava (stanice Požega i Pleternica most), Toplica (Daruvarska), Glina (stanice Vranovina i Glina), Sava (Županja

stepenica), Voćinka, Vučica, Biđ, Londa i Sunja. Skupina je kao i prethodna dijelom heterogena i okuplja tekućice od gotovo jednostavnih (kišnih) režima do složenijih režima s različitim udjelom sniježnice u prihrani. Većinom su posrijedi manje tekućice panonskoga dijela Hrvatske, poriječja Drave (Voćinka i Vučica) i većim dijelom poriječja Save (Bijela, Orłjava, Toplica, Londa i Sunja). Uz njih tu je još i Glina, desni pritok Kupe. Riječ je o tekućicama koje svoje izvorište uglavnom imaju u slavonskim gorama te na Kordunu (Glina) i Banovini (Sunja). U tu skupinu ulazi i nizvodni režim Save kod Županje, koji se ponešto razlikuje od režima Save u gornjem i srednjem dijelu toka kroz Hrvatsku (stanice s peripanonskim tipom režima).

U ovaj klaster analizom su uključeni i protočni režimi *nepanonskih* tekućica: Korane na mjernoj stanici Luketići i Krke na mjernoj stanici Miljacka. Režim Korane uvjetovan je, osim klimatskim specifičnostima, i posebnim hidrogeološkim svojstvima poriječja koja nisu dokraja ni istražena. S druge strane, režim Krke kod HE-a Miljacka u odnosu na nizvodne stanice donekle je modificiran u smislu izravnjavanja krivulje godišnjega hoda protoka zbog uspora i postojanja uzvodnih (jezerskih) proširenja, pa bi se mogao pribrojiti rijekama sa znatnije antropogeno izmijenjenim režimom.

Tab. 5. Modulni koeficijenti za razdoblje 1990. – 2009. tekućica s panonskim kišno-snežnim režimom
 Tab. 5. *Module coefficients of rivers with Pannonian pluvial-nival regime for the 1990-2009 period*

VODOTOK-STANICA	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
Bijela-Badljovina	1,12	1,26	1,53	1,73	1	1,04	0,52	0,42	0,75	0,49	0,93	1,18
Orłjava-Pleternica most	1,13	1,24	1,44	1,74	1,11	1,13	0,6	0,4	0,58	0,44	0,86	1,32
Orłjava-Požega	1,23	1,14	1,59	2,01	1,1	1	0,47	0,3	0,52	0,39	0,83	1,4
Toplica-Daruvr	1,25	1,28	1,44	1,66	1,03	0,84	0,47	0,41	0,75	0,59	0,84	1,25
Glina-Glina	1,22	1,28	1,34	1,62	0,71	0,66	0,68	0,52	0,54	0,74	1,08	1,62
Glina-Vranovina	1,3	1,3	1,28	1,58	0,96	0,52	0,42	0,55	0,49	0,76	1,05	1,79
Korana-Luketići	1,28	1,24	1,48	1,97	1,33	0,76	0,38	0,26	0,36	0,52	0,91	1,51
Krka-Miljacka	1,49	1,26	1,35	1,48	1,1	0,71	0,48	0,41	0,41	0,57	1,08	1,66
Sava-Županja stepenica	1,32	1,12	1,27	1,63	1,06	0,77	0,54	0,41	0,54	0,77	1,15	1,42
Voćinka-Mikleuš	1,18	1,33	1,51	1,6	0,71	0,87	0,32	0,32	0,9	0,42	1,06	1,79
Vučica-Beničanci	1,37	1,38	1,54	1,35	0,68	0,82	0,47	0,4	0,82	0,68	0,98	1,5
Biđ-Vrpolje	1,78	1,54	1,45	1,46	0,78	0,86	0,41	0,29	0,34	0,36	1,06	1,63
Londa-Pleternica	1,25	1,51	1,42	1,52	0,88	0,81	0,36	0,33	0,46	0,45	1,16	1,66
Sunja-Sunja	1,4	1,63	1,54	1,8	0,75	0,62	0,23	0,38	0,34	0,41	1,01	1,89

Izvor: prema podacima DHMZ-a izračunao autor

Glavna je značajka panonskoga kišno-snežnog režima izraženi proljetni maksimum, kada se vrijednosti modulnih koeficijenata u travnju (kod Vučice u ožujku) kreću od 1,46 (Biđ-Vrpolje) do 2,01 (Orłjava-Požega) (tab. 5). Vrijednosti drugoga maksimuma, u prosincu, dosta variraju. Kod nekih tekućica jedva prelaze srednje godišnje vrijednosti

(Bijela 1,18), dok su kod drugih izraženije i od travanjskih vrijednosti (Sunja 1,89). Glavni minimum protoka kod većine promatranih stanica jest u kolovozu, kad se vrijednosti modulnih koeficijenata kreću u rasponu od 0,26 (Korana-Luketići) do 0,55 (Glina-Glina). Eventualni sekundarni minimum javlja se u siječnju ili veljači zadržavajući vrijednosti protoka iznad srednjih godišnjih vrijednosti.

5. Panonski kišni režim

Rijeke s panonskim kišnim režimom jesu Česma, Ilova i Kutina. To su nizinske rijeke središnje Hrvatske, maloga pada, koje nerijetko poplavljuju. Zbog toga su im tokovi i poriječja dijelom kanalizirani i meliorirani te su na njima izgrađeni veći ili manji ribnjaci i retencije. Otjecanje im je gotovo isključivo površinsko te imaju razvijena poriječja.

Panonski kišni režim praktično je jednostavan, sa po jednim izraženim maksimumom i minimumom tijekom godine (tab. 6). Maksimum se javlja u prosincu, kada se vrijednosti modulnih koeficijenata kreću između 1,61 (Ilova-Munije) i 1,95 (Česma-Narta). Iznadprosječne vrijednosti zadržavaju se uz manje oscilacije oko vrijednosti 1,5 od studenoga do travnja. Ispodprosječne vrijednosti protoka javljaju se od svibnja do listopada uz dva manja skoka, dok je minimum protoka u srpnju i kolovozu, kada su modulni koeficijenti od 0,15 (Kutina-Kutina) do 0,26 (Česma-Čazma).

Tab. 6. Modulni koeficijenti za razdoblje 1990. – 2009. tekućica s panonskim kišnim režimom

Tab. 6 *Module coefficients of rivers with Pannonian pluvial regime for the 1990-2009 period*

VODOTOK-STANICA	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
Česma-Čazma	1,73	1,4	1,7	1,36	0,6	0,5	0,26	0,22	0,58	0,62	1,26	1,76
Česma-Narta	1,65	1,41	1,64	1,4	0,6	0,64	0,22	0,18	0,46	0,53	1,33	1,95
Ilova-Veliko Vukovje	1,38	1,51	1,6	1,43	0,59	0,58	0,19	0,18	0,67	0,81	1,42	1,63
Ilova-Munije	1,5	1,55	1,72	1,42	0,57	0,7	0,22	0,22	0,57	0,54	1,39	1,61
Kutina-Kutina	1,62	1,5	1,32	1,56	0,68	0,71	0,15	0,15	0,53	0,53	1,5	1,88

Izvor: prema podacima DHMZ-a izračunao autor

6. Sredozemni kišno-snežni režim

Taj tip karakterističan je za 22% analiziranih stanica koje se većim dijelom nalaze na tekućicama što pripadaju slijevu Jadranskoga mora. To su rijeke Cetina (stanice Blato na Cetini nizvodno i Tisne Stine), Vrljika, Jadro, Ombla, Krka (Skradinski buk gornji), Zrmanja (stanice Ervenik i Jankovića buk), ličke tekućice Lika i Novčica, istarske rijeke Mirna i Pazinčica te Rječina. Tomu tipu pripadaju i dvije rijeke crnomorskoga slijeva, (Donja) Dobra (stanice Stative Donje i Trošmarija) i Korana (Slunj uzvodni). Njihova poriječja uglavnom su pod maritimnim utjecajem (klime Csa i Cfa prema Köppenovoj klasifikaciji), a prihranjuju se većim ili manjim dijelom i iz gorskog i visokogorskog prostora sa snježno-šumskom klimom (tipovi D). Uz to je dio poriječja rijeka na visoravnima Like i susjedne Bosne i Hercegovine. Zajednička im je značajka maritimni pluviometrijski režim (Šegota i Filipčić, 1996; Maradin, 2011).

Većim su dijelom ipak posrijedi krške rijeke s umjerenom do velikom varijabilnošću protoka tijekom godine (tab. 7). Primarni maksimum javlja se zimi, najčešće u prosincu (Rječina i Novčica u studenome), kada se vrijednosti modulnih koeficijenata kreću u rasponu od 1,54 (Donja Dobra-Trošmarija) do 2,81 (Zrmanja-Jankovića buk). Sekundarni maksimum javlja se u travnju s vrijednostima od 1,13 (Novčica-Lički Novi) do 1,84 (Zrmanja-Ervenik).

Tab. 7. Modulni koeficijenti za razdoblje 1990. – 2009. tekućica sa sredozemnim kišno-snježnim režimom

Tab. 7. Module coefficients of rivers with Mediterranean pluvial-nival regime for the 1990-2009 period

VODOTOK-STANICA	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
Cetina-Blato na Cetini	1,58	0,81	0,88	1,34	0,6	0,49	0,47	0,48	0,59	0,61	1,92	2,23
Cetina-Tisne Stine	1,56	0,95	0,97	1,31	0,69	0,54	0,45	0,43	0,55	0,66	1,75	2,13
Novčica-Lički Novi	1,36	1,15	1,07	1,13	0,64	0,36	0,09	0,07	0,49	1,27	2,29	2,11
Pazinčica-Dubravica	1,54	1,22	1,17	1,55	0,79	0,37	0,07	0,14	0,18	0,92	2,05	2,07
Rječina-Izvor Rječine	1,06	0,79	0,97	1,81	1	0,44	0,16	0,11	0,49	1,43	2	1,75
Lika-Bilaj	1,45	1,33	1,18	1,2	0,85	0,36	0,27	0,35	0,33	0,64	1,49	2,52
Zrmanja-Jankovića buk	1,33	1,14	1,26	1,38	0,63	0,33	0,38	0,32	0,52	0,58	1,3	2,81
Zrmanja-Ervenik	1,52	0,98	1,28	1,84	0,83	0,36	0,21	0,26	0,11	0,44	1,54	2,64
Korana-Slunj uzv.	1,36	1,31	1,24	1,83	1,05	0,4	0,23	0,15	0,48	0,54	1,3	2,09
Donja Dobra-Statve Donje	1,41	1,16	1,24	1,54	0,77	0,49	0,29	0,27	0,62	1,06	1,5	1,65
Donja Dobra-Trošmarija	1,45	1,17	1,26	1,55	0,77	0,48	0,27	0,25	0,62	1,1	1,53	1,54
Mirna-Portonski most	1,43	1,27	1,13	1,3	0,8	0,56	0,2	0,22	0,47	1,12	1,72	1,77
Mirna-Buzet	1,29	1,25	1,17	1,31	0,83	0,59	0,22	0,25	0,53	1,08	1,68	1,81
Jadro-Majdan	1,55	1,21	1,24	1,29	0,84	0,58	0,38	0,33	0,48	0,69	1,42	1,99
Krka-Skradinski buk gornji	1,57	1,19	1,2	1,43	1	0,61	0,37	0,28	0,43	0,65	1,34	1,93
Ombla-Komolac	1,52	1,44	1,3	1,35	0,77	0,52	0,38	0,31	0,46	0,83	1,29	1,83
Vrljika-Kamenmost	1,74	1,36	1,35	1,5	1,01	0,59	0,33	0,23	0,32	0,47	1,16	1,94

Izvor: prema podatcima DHMZ-a izračunao autor

Primarni minimum javlja se ljeti, u srpnju ili kolovozu, s vrijednostima koeficijenata između 0,07 (Pazinčica u srpnju i Novčica u kolovozu) i 0,48 (Cetina-Blato na Cetini). Sekundarni minimum, ako je izražen, javlja se u veljači ili ožujku s prosječnim vrijednostima protoka. Kod ličkih tekućica (Lika i Novčica) te Jadrta i Omble sekundarni maksimum vrlo je slabo izražen, pa gotovo možemo govoriti o jednostavnom režimu s jednim maksimumom i minimumom. Iznadprosječne vrijednosti protoka javljaju se općenito od studenoga do travnja, iznimno od listopada (Rječina) ili do svibnja (Korana).

7. Sredozemni kišni režim

Tome režimu pripadaju, prema rezultatima klsterske analize, samo tri stanice na dvije tekućice, Čikoli (stanice Ružić 1 i Ključice) te ličkoj Jadovi. Glavna je karakteristika toga tipa još veća varijabilnost protoka (gotovo bujični karakter) nego kod rijeka sredozemnoga kišno-snježnog režima, njegovi nagli skokovi te gotovo redovito presušivanje u ljetnim mjesecima. Riječ je o jednostavnom režimu s maksimumom protoka zimi i minimumom (presušivanjem) ljeti (tab. 8).

Tab. 8. Modulni koeficijenti za razdoblje 1990. – 2009. tekućica sa sredozemnim kišnim režimom
Tab. 8 Module coefficients of rivers with Mediterranean pluvial regime for the 1990-2009 period

VODOTOK-STANICA	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
Čikola-Ružić 1	2,07	1,2	1,69	1,74	0,81	0,28	0,09	0	0,06	0,15	0,93	2,97
Čikola-Ključice	2,1	1,35	1,33	1,51	0,62	0,06	0,02	0,02	0,29	0,35	1,66	2,67
Jadova-Barlete	1,64	1,5	1,74	1,75	1	0,19	0,02	0,003	0,08	0,25	0,89	2,91

Izvor: prema podacima DHMZ-a izračunao autor

Maksimum se javlja u prosincu s vrijednostima većim od 2,5 (Čikola-Ružić 1 čak 2,97), a minimum, odnosno ponekad i presušivanje, u srpnju i kolovozu. Iznadprosječne vrijednosti protoka javljaju se od prosinca (ili studenoga) do travnja.

ZAKLJUČAK

Prikazana tipologija protočnih režima Hrvatske upućuje na bogatstvo i raznolikost tekućica u Hrvatskoj. To je rezultat prostorne raznolikosti i dinamike prirodnogeografskih i društvenogeografskih uvjeta otjecanja u Hrvatskoj i uzvodnim zemljama. Klsterskom analizom utvrđeno je sedam tipova protočnih režima Hrvatske. Uz navedene tipove za neke je stanice na pojedinim tekućicama utvrđen dominantan antropogeni utjecaj, pa se one mogu i posebno promatrati. Radom se pokušalo obuhvatiti što veći broj stanica na svim većim tekućicama u Hrvatskoj te objektivnom metodom odrediti tipove protočnih režima. Istraživanja protočnih režima te posebice njihovih promjena trebaju se nastaviti. To se prije svega odnosi na prostornu razinu poriječja, u kojoj se jasnije mogu sagledati svi faktori koji utječu na protočni režim te posljedice uočenih promjena i mjere prilagodbe na njih.

LITERATURA

- Beckinsale, R. P., 1969: River Regimes, u: *Water, Earth, and Man* (ur. Chorley, R. J.), Methuen & Co, London.
- Belz, J. U., Goda, L., Buzás, Z., Domokos, M., Engel, H., Weber, J., 2004: *Flow Regime of River Danube and its Catchment – an update of Chapter II of the Danube Monograph*, Njemački nacionalni odbor IHP (UNESCO), Koblenz, Njemačka.
- Bormann, H., 2010: Runoff regime changes in German rivers due to climate change, *Erdkunde* 64 (3), 257-279.
- Brilly, M., Horvat, A., Matthews, D., Šraj, M., 2007: Climate change impact on mean annual river flows, u: *Proceedings of the Third International Conference on Climate and Water*, Helsinki, Finska, 82-87.
- Dukić, D., 1984: *Hidrologija kopna*, Naučna knjiga, Beograd, 498 str.
- Frantar, P., Hrvatin, M., 2005: Discharge regimes in Slovenia from 1971 to 2000, *Geografski vestnik* 77 (2), 115-127.
- Hrvatin, M., 1998: Discharge regimes in Slovenia, *Geografski zbornik* 38, 59-87.
- Ilešić, S., 1947: Rečni režimi v Jugoslaviji, *Geografski vestnik* 19, 71-110.
- Isik, S., Singh, V. P., 2008: Hydrologic Regionalization of Watersheds in Turkey, *Journal of Hydrologic Engineering* 13 (9), 824-862.
- Knežević, R., 2001: Osnovne značajke režima poriječja Rječine, *Acta Geographica Croatica* 34, (1999.), 73-88.
- Knežević, R., 2004: Uvjeti otjecanja i režim tekućica u porječju Mirne, *Hrvatski geografski glasnik* 65, (2), (2003.), 81-97.
- Kovács, P., 2010: Characterization of the Runoff Regime and Its Stability in the Danube Catchment, u: *Hydrological Processes of the Danube River Basin* (ur. Brilly, M.), Springer, 143-173.
- Krasovskaia, I., Arnell, N. W., Gottschalk, L., 1994: Flow regimes in northern and western Europe: development and application of procedures for classifying flow regimes, u: *zbornik radova konferencije mreže FRIEND*, Braunschweig 1993. (ur. Seuna, P., Gustard, A., Arnell, N. W., Cole, G. A.), IAHS publikacija br. 221, 185-192.
- Kurnoga Živadinović, N., Sorić, P., 2008: Klaster analiza županija Hrvatske prema sredstvima dobivenim iz programa Europske Unije, *Zbornik Ekonomskog fakulteta u Zagrebu* 6, 193-207.
- Maradin, M., 2011: *Geografski aspekt razlika u varijabilnosti padalina kontinentnog i maritimnog pluviometrijskog režima u Republici Hrvatskoj*, doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu, PMF, Geografski odsjek, 126 str.
- Orešić, D., 1995: Osnovne značajke režima tekućica poriječja Krapine, *Geografski glasnik* 57, 37-53.
- Pardé, M., 1933: *Fleuves et Rivières*, Armand Colin, Paris, Francuska, 224 str.
- Pejnović, D., 1991: Režim tekućica kao indikator općih hidrogeografskih obilježja Like, *Hrvatski geografski glasnik* 53 (1), 41-55.
- Reimann, C., Filzmoser, P., Garrett, R., Dutter, R., 2008: *Statistical Data Analysis Explained: Applied Environmental Statistics with R*, John Wiley and Sons, Chicester, Engleska, 343 str.
- Riđanović, J., 1993: *Hidrogeografija*, Školska knjiga, Zagreb, 215 str.
- Sekulić, B., 1987: Vode Jugoslavije, u: *Veliki geografski atlas Jugoslavije* (ur. Bertić, I.), Sveučilišna naklada Liber, Zagreb, 25. str.
- Šegota, T., Filipčić, A., 1996: *Klimatologija za geografe*, III. prerađeno izdanje, Školska knjiga, Zagreb, 471 str.
- Wilhelm, F., 1997: *Hydrogeographie*, 3. izdanje, Westermann, Braunschweig, Njemačka, 225 str.

IZVOR

Izvor 1: *Historijat mjerne stanice Metković*, Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, 2011.

SUMMARY

Typology of Discharge Regimes of Rivers in Croatia

Ivan Čanjev

The cluster analysis based on the annual discharge curve for the period from 1990 to 2009 has resulted in 7 types of discharge regimes: 1) Alpine nival-pluvial regime, 2) Dinaric pluvial-nival regime, 3) Peripannonian pluvial-nival regime, 4) Pannonian pluvial-nival regime, 5) Pannonian pluvial regime, 6) Mediterranean pluvial-nival, and 7) Mediterranean pluvial regime.

Rivers with the Alpine nival-pluvial regime in Croatia are the Drava, the Mura and the Danube. Their regime is defined mainly by snow and ice melting in the Alpine and Pre-Alpine region of Austria, Slovenia and Germany. Rivers with the Dinaric pluvial-nival regime are the Kupa (gauging stations Hrvatsko, Kupari and Kamanje), the Čabranka, the Kupica, the Upper Dobra (stations Luke and Turkovići) and the Vitunjčica (smaller right tributary of the Dobra River). They are all a part of the Kupa River Basin and have their source and the upper part in the mountainous region of Gorski kotar. They all flow through karst (partly underground flow), and have their sources in the area with the highest precipitation in Croatia (more than 3500 mm/year). The peripannonian pluvial-nival regime covers over 30 % of the analysed stations. It includes the rivers Bednja (stations Tuhovec, Lepoglava, Željeznica and Ludbreg), Krapina, Krapinčica, Horvatska, Sutla, Lonja, Bjelovatska (Bjelovar), Gliboki, Koprivnica, Sava (stations Podsused žičara, Zagreb and Jasenovac), Bregana, Gradna, Trnava, Kupčina, Mrežnica and Kupa (station Jamnička Kiselica). The Pannonian pluvial-nival regime includes smaller rivers in the Pannonian lowlands, in the basins of the Drava (Voćinka and Vučica) and the Sava (Bijela, Orljava, Toplica, Londa and Sunja). In addition, this type includes the river Glina, the right tributary of the Kupa. Those rivers have sources mainly in the Slavonian mountains and in Kordun (Glina) and Banovina (Sunja) regions, and also include the lower part of the Sava (station Županja) in Croatia. Rivers with the Pannonian pluvial regime are the rivers Česma, Ilova and Kutina. Those rivers are in the central lowland part of Croatia and they have a small elevation gradient and frequent flooding. The Mediterranean pluvial-nival regime includes 22 % of the analysed stations, which are mainly distributed on rivers flowing into the Adriatic Sea. It includes the Dalmatian rivers Cetina (stations Blato na Cetini nizvodno and Tisne Stine), Vrljika, Jadro, Ombla, Krka (Skradinski Buk gornji), Zrmanja (stations Ervenik and Jankovića Buk), the rivers Lika and Novčica in the Lika region, the Istrian rivers Mirna and Pazinčica and the Rječina river in the Primorje region. This type also includes two rivers from the Black Sea basin: the Lower Dobra (stations Stative Donje and Trošmarija) and the Korana (Slunj uzvodni). Rivers of this type are mainly karst rivers with medium or high annual discharge variability. The Mediterranean pluvial regime includes only three stations on two rivers: the Čikola (stations Ružić 1 and Ključice) and the Jadova. The main characteristic of this discharge regime type is high annual discharge variability (almost torrential flows), abrupt changes in flow and usual drying up during summer months.

Croatia is a heterogeneous, transit and generally very dynamic country in terms of geology, terrain, climate and landscape. The formation of streams and rivers, their watersheds and discharge regimes is also strongly influenced in some parts by human activity. That is the reason for such a variety of discharge regimes in a relatively small area. Further research should focus on a smaller scale – catchment or sub-catchment area scale. For this purpose, there is a need to develop a quality data base and GIS layers with all the relevant physical geographic and sociogeographic elements, especially for all the water supply areas.

The results of this research, along with the suggested further research, will increase the knowledge about the water resources of Croatia and hopefully stimulate more responsible management and protection of this vital natural resource.

Primljeno (Received): 22 -02-2013

Prihvaćeno (Accepted): 11-06-2013

Dr. sc. **Ivan Čanjevac**, viši asistent
Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geografski odsjek
Marulićev trg 19/II, 10000 Zagreb
canjevac@geog.pmf.hr